

AD8494/AD8495/AD8496/AD8497 を使用する際の熱電対の直線化

著者: Reem Malik

概要

AD8494/AD8495/AD8496/AD8497 熱電対アンプは、熱電対温度測定のためのシンプルで低価格ソリューションを提供します。これらのアンプを使うと、熱電対測定の多くの困難を克服することができます。固定ゲインの計装アンプが小さい熱電対電圧を増幅し、内蔵の温度センサーが冷接点補償を行います。

AD849x は、次式により 5 mV/°C のリニア応答を持つように J タイプおよび K タイプの熱電対信号を測定/増幅するように最適化されています。

$$V_{OUT} = (T_{MJ} \times 5 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}) + V_{REF}$$

ここで、 T_{MJ} は熱電対の測定接点温度。

AD849x 出力は、表 1 に記載する全測定範囲と全周囲温度で 2°C 以内を維持し正確です。このアプリケーション・ノートでは、AD849x を使って、規定範囲外の温度で動作または温度測定する際に精度を向上させる方法について説明します。

熱電対の非直線性

熱電対により発生される電圧は、本来非直線性を持っています。例えば、J タイプ熱電対は 25°C では 52 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ で変化し、150°C では 55 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ で変化します。K タイプ熱電対の直線性はこれより優れており、温度が 0°C より上ではほぼ 41 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ を維持しています。温度勾配に対する熱電対の電圧応答は、6 次以上の多項式で記述することができます (図 1)。

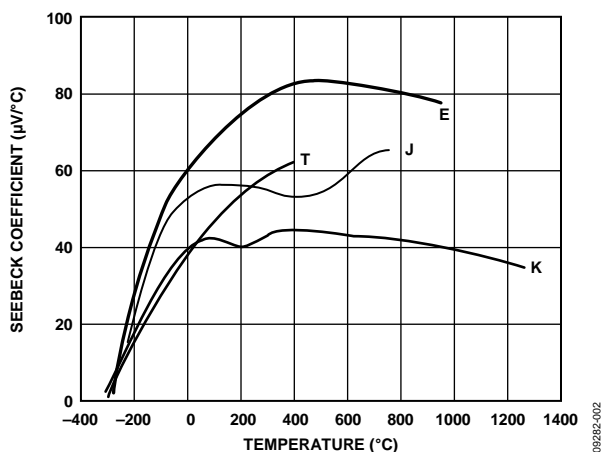


図 1. 熱電対ゼーベック係数の温度特性

AD849x は、熱電対信号(冷接点補償済み)を直線的に増幅します。これは、出力信号が熱電対からの入力信号と同様に非直線性を持っていることを意味します。

アプリケーションによっては、その温度範囲で熱電対から直接出力される場合より、優れた非直線性 (より高精度) が必要になることがあります。このような場合、熱電対測定の直線化すなわち補正が必要になります。

熱電対測定で直線化が必要か否かは、選択する熱電対タイプ、所要システム精度、測定温度範囲に依存します。熱電対信号の非直線性は、良く理解されており、特定の熱電対タイプに対して一定です。このため、測定システムでそれを補償することができます。

AD849X 熱電対の非直線性補償

AD849x では熱電対非直線性をアクティブに補正していませんが、アンプは J タイプと K タイプの熱電対伝達特性に一致するように高精度な調整が行われています。これは、AD849x では熱電対カーブの特定部分を選択することにより非直線性を補償し、この部分に直線近似を適用して 5 mV/°C 出力を発生していることを意味します。

表 1 に選択した温度範囲を示します。これにより、熱電対非直線性誤差が $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以下になっています。図 2 に、非直線性誤差のグラフを示します。

表 1. AD849x の $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 精度温度範囲

Part	Thermocouple Type	Max Error	Ambient Temperature Range	Measurement Temperature Range
AD8494	J	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	0°C to 50°C	-35°C to +95°C
AD8495	K	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	0°C to 50°C	-25°C to +400°C
AD8496	J	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	25°C to 100°C	+55°C to +565°C
AD8497	K	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	25°C to 100°C	-25°C to +295°C

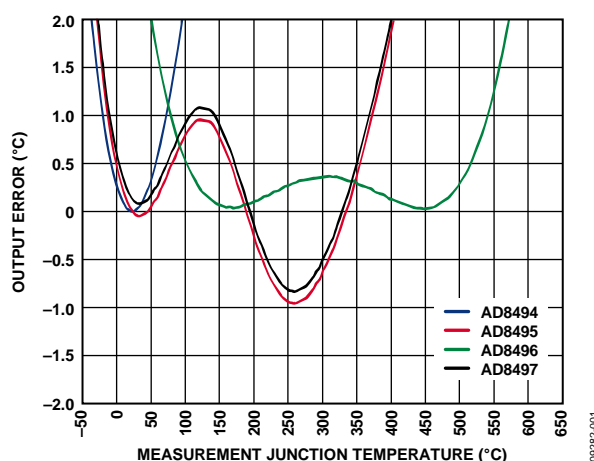


図 2. 熱電対非直線性から生ずる AD849x 出力誤差

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、各社の所有に属します。
※日本語データシートは REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。
©2010 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Rev. 0

AD849x ファミリーの各デバイスは、特定の測定温度範囲および周囲温度範囲に対して特定熱電対タイプの直線動作範囲を最適化するために高精度な調整が行われています。最小誤差で 5 mV/°C 出力を実現するために、次の 3 つのパラメータが調整されています。

- アンプのゲイン
- アンプのオフセット (25°C で 125 mV を実現する 0°C での誤差電圧)
- 温度センサー/冷接点補償のスケール・ファクタ

熱電対電圧 V_{TC} は、熱電対タイプ、測定接点温度 (T_{MJ})、リファレンス接点温度 (T_{RJ}) の関数です。

$$V_{TC} \propto T_{MJ} - T_{RJ} = (T_{MJ} - 0) - (T_{RJ} - 0)$$

AD849x を使って測定する実際の熱電対電圧を求めるときは、次の伝達関数を使う必要があります (各デバイスの特定の値については表 2 を参照)。

$$V_{TC} = \frac{V_{OUT} - (T_{RJ} \times CJC) - V_{OFFSET} - V_{REF}}{Gain}$$

ここで、

CJC は冷接点補償スケール・ファクタ。

V_{OFFSET} は、25°C で 125 mV を実現するための 0°C での誤差電圧。

V_{REF} はユーザ入力電圧。

$Gain$ は、アンプのゲイン。

表 2. AD8494、AD8495、AD8496、AD8497 の伝達関数値

Part	Gain	CJC Factor (mV/°C)	Offset (mV)
AD8494	96.7	5	0
AD8495	122.4	4.95	1.25
AD8496	90.35	4.8	20.2
AD8497	122.4	5.0392	-0.98

直線性補正アルゴリズム

熱電対非直線性は、一般にマイクロコントローラを使いデジタル領域で補正されます。2 種類の補正アルゴリズムを使うことができます。

AD849x 出力のルックアップ・テーブル

最初の方法は表 3 を使う方法であり、この表には AD849x の理論出力電圧を規定接点温度を持つ J タイプおよび K タイプの熱電対温度の関数として記載してあります。

例えば、AD8495 を室温 (25°C) で、リファレンス・ピンをグラウンドに接続し、K タイプ熱電対に接続すると、1 V を出力します。5 mV/°C の伝達関数を使うと、1 V は 200°C を表わします。これより高い精度の場合は、1 V 出力に対応する温度を次のように計算する必要があります。

1. 表 3 から、測定接点温度 200°C で実際の AD8495 出力は 0.999 V になり、測定接点温度 220°C では、1.097 V になることが分かります。
2. これら 2 ポイント間を直線外挿すると、1 V で 200.2°C となることが分かります。

NIST 熱電対電圧のルックアップ・テーブル

2 つ目の方法では次に示す式を使います。ここで、 T_{MJ} は熱電対測定接点の温度、 f_{NIST} は標準ルックアップ・テーブルまたは National Institute of Standards and Technology から公表された式に基づく mv 対温度関数 (熱電対データベースは <http://srdata.nist.gov/its90/main> に記載されています)。

$V_{TC} \propto T_{MJ} - T_{RJ}$ の関係があることに注意してください。すなわち、

$$V_{TC} = f_{NIST}(T_{MJ} - 0) - f_{NIST}(T_{RJ} - 0)$$

中間温度に対する出力値は、AD849x の出力式と 0°C 基準の NIST 熱電対電圧表を使って内挿または計算することができます。

AD8494 の場合、式は次のようになります。

$$T_{MJ} = f_{NIST}((V_{OUT} - V_{REF})/96.7)$$

AD8495 の場合、式は次のようになります。

$$T_{MJ} = f_{NIST}((V_{OUT} - V_{REF} - 1.25 \text{ mV})/122.4)$$

AD8496 の場合、式は次のようになります。

$$T_{MJ} = f_{NIST}((V_{OUT} - V_{REF} - 20.2 \text{ mV})/90.35)$$

AD8497 の場合、式は次のようになります。

$$T_{MJ} = f_{NIST}((V_{OUT} - V_{REF} + 0.98 \text{ mV})/122.4)$$

最初の方法と同じ例を使うと (室温の AD8495 を、リファレンス・ピンをグラウンドに接続し、K タイプ熱電対に接続すると、1 V を出力)、補正手順は次のようになります。

$$T_{MJ} = f_{NIST}((1 \text{ V} - 1.25 \text{ mV})/122.4) = f_{NIST}(8.158 \text{ mV})$$

1. 標準 K タイプ熱電対表から、測定接点温度 200°C で、熱電対の熱電対電圧が 8.138 mV であること、測定接点温度 201°C で、熱電対電圧が 8.178 mV であることがそれぞれ分かります。
2. 直線外挿を行うと、最終結果として 200.5°C が得られます。

表 3. 熱電対非直線性を反映した実際の AD849x 結果

Measurement Junction Temperature (°C)	AD8494/AD8495 Output, $T_A = T_{RJ} = 25^\circ\text{C}$			AD8496/AD8497 Output, $T_A = T_{RJ} = 60^\circ$		
	Ideal Output (V)	Actual Output (V)		Ideal Output (V)	Actual Output (V)	
	AD8494/ AD8495	AD8494 Output with J Type	AD8495 Output with K Type	AD8496/ AD8497	AD8496 Output with J Type	AD8497 Output with K Type
-260	-1.3		-0.786	-1.3		-0.785
-240	-1.2		-0.774	-1.2		-0.773
-220	-1.1		-0.751	-1.1		-0.751
-200	-1		-0.719	-1		-0.718
-180	-0.9	-0.714	-0.677	-0.9	-0.642	-0.676
-160	-0.8	-0.658	-0.627	-0.8	-0.590	-0.626
-140	-0.7	-0.594	-0.569	-0.7	-0.530	-0.568
-120	-0.6	-0.523	-0.504	-0.6	-0.464	-0.503
-100	-0.5	-0.446	-0.432	-0.5	-0.392	-0.432
-80	-0.4	-0.365	-0.355	-0.4	-0.315	-0.354
-60	-0.3	-0.278	-0.272	-0.3	-0.235	-0.271
-40	-0.2	-0.188	-0.184	-0.2	-0.150	-0.184
-20	-0.1	-0.095	-0.093	-0.1	-0.063	-0.092
0	0	0.002	0.003	0	0.027	0.003
20	0.1	0.100	0.100	0.1	0.119	0.101
25	0.125	0.125	0.125	0.125	0.142	0.126
40	0.2	0.201	0.200	0.2	0.213	0.200
60	0.3	0.303	0.301	0.3	0.308	0.301
80	0.4	0.406	0.402	0.4	0.405	0.403
100	0.5	0.511	0.504	0.5	0.503	0.505
120	0.6	0.617	0.605	0.6	0.601	0.605
140	0.7	0.723	0.705	0.7	0.701	0.705
160	0.8	0.829	0.803	0.8	0.800	0.804
180	0.9	0.937	0.901	0.9	0.900	0.902
200	1	1.044	0.999	1	1.001	0.999
220	1.1	1.151	1.097	1.1	1.101	1.097
240	1.2	1.259	1.196	1.2	1.201	1.196
260	1.3	1.366	1.295	1.3	1.302	1.296
280	1.4	1.473	1.396	1.4	1.402	1.396
300	1.5	1.580	1.497	1.5	1.502	1.498
320	1.6	1.687	1.599	1.6	1.602	1.599
340	1.7	1.794	1.701	1.7	1.702	1.701
360	1.8	1.901	1.803	1.8	1.801	1.804
380	1.9	2.008	1.906	1.9	1.901	1.907
400	2	2.114	2.010	2	2.001	2.010
420	2.1	2.221	2.113	2.1	2.100	2.114
440	2.2	2.328	2.217	2.2	2.200	2.218
460	2.3	2.435	2.321	2.3	2.300	2.322
480	2.4	2.542	2.425	2.4	2.401	2.426
500	2.5	2.650	2.529	2.5	2.502	2.530
520	2.6	2.759	2.634	2.6	2.603	2.634
540	2.7	2.868	2.738	2.7	2.705	2.739
560	2.8	2.979	2.843	2.8	2.808	2.843
580	2.9	3.090	2.947	2.9	2.912	2.948
600	3	3.203	3.051	3	3.017	3.052
620	3.1	3.316	3.155	3.1	3.124	3.156
640	3.2	3.431	3.259	3.2	3.231	3.259
660	3.3	3.548	3.362	3.3	3.340	3.363
680	3.4	3.666	3.465	3.4	3.451	3.466
700	3.5	3.786	3.568	3.5	3.562	3.569
720	3.6	3.906	3.670	3.6	3.675	3.671
740	3.7	4.029	3.772	3.7	3.789	3.773
760	3.8	4.152	3.874	3.8	3.904	3.874

Measurement Junction Temperature (°C)	AD8494/AD8495 Output, $T_A = T_{RJ} = 25^\circ\text{C}$			AD8496/AD8497 Output, $T_A = T_{RJ} = 60^\circ$		
	Ideal Output (V)	Actual Output (V)		Ideal Output (V)	Actual Output (V)	
	AD8494/ AD8495	AD8494 Output with J Type	AD8495 Output with K Type	AD8496/ AD8497	AD8496 Output with J Type	AD8497 Output with K Type
780	3.9	4.276	3.975	3.9	4.020	3.976
800	4	4.401	4.076	4	4.137	4.076
820	4.1	4.526	4.176	4.1	4.254	4.176
840	4.2	4.650	4.275	4.2	4.370	4.276
860	4.3	4.774	4.374	4.3	4.486	4.375
880	4.4	4.897	4.473	4.4	4.600	4.474
900	4.5	5.018	4.571	4.5	4.714	4.572
920	4.6	5.138	4.669	4.6	4.826	4.670
940	4.7	5.257	4.766	4.7	4.937	4.767
960	4.8	5.374	4.863	4.8	5.047	4.863
980	4.9	5.490	4.959	4.9	5.155	4.960
1000	5	5.606	5.055	5	5.263	5.055
1020	5.1	5.720	5.150	5.1	5.369	5.151
1040	5.2	5.833	5.245	5.2	5.475	5.245
1060	5.3	5.946	5.339	5.3	5.581	5.339
1080	5.4	6.058	5.432	5.4	5.686	5.433
1100	5.5	6.170	5.525	5.5	5.790	5.526
1120	5.6	6.282	5.617	5.6	5.895	5.618
1140	5.7	6.394	5.709	5.7	5.999	5.710
1160	5.8	6.505	5.800	5.8	6.103	5.801
1180	5.9	6.616	5.891	5.9	6.207	5.891
1200	6	6.727	5.980	6	6.311	5.981
1220	6.1		6.069	6.1		6.070
1240	6.2		6.158	6.2		6.158
1260	6.3		6.245	6.3		6.246
1280	6.4		6.332	6.4		6.332
1300	6.5		6.418	6.5		6.418
1320	6.6		6.503	6.6		6.503
1340	6.7		6.587	6.7		6.588
1360	6.8		6.671	6.8		6.671
1380	6.9		6.754	6.9		6.754